

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 20 MAY 2003
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 16 477.0

Anmeldetag: 13. April 2002

Anmelder/Inhaber: Professor Dr.-Ing. Werner Liedy,
Hochdorf-Assenheim/DE

Bezeichnung: Neue Reaktor- und Verfahrenskonzepte
zur technischen Anwendung der Photo-
katalyse

IPC: B 01 J, C 02 F

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 03. April 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag


Dr. Faust

Neue Reaktor- und Verfahrenskonzepte zur technischen Anwendung der Photokatalyse

Gegenstand der Erfindung ist ein neues Reaktor- und Verfahrenskonzept zur technischen Anwendung der Photokatalyse.

Beschreibung des Standes der Technik

Die Photokatalyse ist ein Effekt der auftritt, wenn ein elektrischer Halbleiter mit reaktionsfähigen Substanzen in Kontakt gebracht wird. Durch die Bestrahlung werden dann Elektronen in ein energetisch höheres Leitungsband promoviert. Zurück bleibt ein "Loch". Das angeregte Elektron und/oder das Loch können mit Molekülen oder Radikalen an der Oberfläche des Halbleiters, z.B. Redoxreaktionen, eingehen. So gelingt es in Anwesenheit von Sauerstoff, die meisten organischen Moleküle, Bakterien und Viren vollständig zu oxidieren.

Es gibt bereits Anwendungen für die Reinigung von Wasser und Gasen (Bahnemann, Detlef: "Photocatalytic Detoxifikation of Polluted Waters", in the Handbook of Environmental Chemistry, O. Hutzinger (Hrg.) Vol. 2.: Reactions and Processes, Part L: Environmental Photochemistry, P. Boule (Ed.), Springer Verlag Heidelberg 1999, 285-351). Der am häufigsten eingesetzte Photokatalysator ist TiO_2 . Mit einer Energiefülle von 3,2 eV kann er mit ultraviolettem Licht mit einer Wellenlänge kleiner als 385 nm aktiviert werden. Es existieren aber auch viele andere Photokatalysatoren mit teilweise tiefer liegender Energiefülle. Diese lassen sich mit Licht größerer Wellenlänge aktivieren. Es wurde in jüngster Zeit an der Entwicklung von Photokatalysatoren mit den unterschiedlichsten Eigenschaften gearbeitet. Insbesondere sind in diesem Zusammenhang als Energieanreger der Bereich des sichtbaren Lichts (Lettmann, Christian: "Konventionelle und kombinatorische Entwicklung von Mischoxiden zur photokatalytischen Wasserreinigung mit sichtbarem Licht", Diss. Univ. des Saar-

landes, 2001) und die Verwendung von Sonnenlicht (EP 0 812 619 A1) zu erwähnen.

In der Literatur sind verschiedene Reaktorbauarten beschrieben.

Weit verbreitet ist der "Stegmehrfachplattenreaktor", bei dem das zu behandelte Fluid mäanderförmig über eine mit Photokatalysator beschichtete Fläche strömt (EP 0 738 686 A1). Der Katalysator wird durch das Fluid hindurch bestrahlt, wozu im beschriebenen Fall einer Abwasserreinigung Sonnenlicht als Anreger und TiO₂ als Katalysator beschrieben ist. Als Variante wird beschrieben, den Katalysator in dem Fluid zu suspendieren und nach Durchlauf der Vorrichtung wieder abzutrennen.

Diese Apparate haben einen extrem hohen Platzbedarf.

Es sind Kartuschen beschrieben, die den Katalysator enthalten und vom zu behandelnden Fluid durchströmt werden. Die Beleuchtung erfolgt mit Lampen, die seitlich an den Kartuschen angebracht sind (WO 96/36565). Dieser Apparat hat einen vergleichbar hohen Platzbedarf wie der "Stegmehrfachplattenreaktor".

Der "Kugelhaufenreaktor" besteht aus Glaskugeln, die mit Katalysator beschichtet sind und durch deren Zwischenräume das Fluid fließt (WO 95/11751). Die Bestrahlung erfolgt durch Lampen, die in die Schüttung eingebracht sind. Häufigste Anwendung als Festbett, aber auch als Wirbelbett. Nachteil ist, daß eine erhöhte Packungsdichte mit nur geringen Eindringtiefen der Strahlung erkauft werden muß.

In Suspensionsreaktoren wird ein feinteilig suspendierter Katalysator mit verschiedenartig angeordneten Lampen bestrahlt (EP 0 233 498 B1). Bedingt durch die starke Abschattung durch andere Katalysator- oder Reagenzpartikel wird jeweils nur ein sehr kleiner Teil der vorhandenen Katalysatoroberfläche aktiviert, falls nicht mit stark verdünnten Katalysatorlösungen und entsprechend geringer Umsetzung gearbeitet wird.

Es sind Anordnungen beschrieben, bei denen das Licht durch Glasplatten zum Photokatalysator transportiert wird (WO 97/37936). Platzbedarf und komplexe Bauweise entsprechen den vorstehend beschriebenen Stegplattenreaktoren.

In WO 98/17390 ist eine Anordnung mit vielen dünnen Glasplättchen ist beschrieben. Sie tragen den Katalysator auf ihrer Oberfläche. Die Bestrahlung erfolgt durch Lampen, die den ringförmig angeordneten Stapel von Glasplatten mittels Aussparungen in den Glasplatten durchdringen. Die Bauweise ist sehr filigran und kompliziert.

Nachteile des Standes der Technik und daraus resultierende Erfordernisse

Allen bekannten Reaktorbauarten ist gemein, daß sie eine nur sehr geringe Packungsdichte der bestrahlten Katalysatoroberfläche erreichen. Dies macht die Apparate teuer. Außerdem haben sie oft einen erheblichen Platzbedarf, der ebenfalls die Anwendung verteuert.

Die etwas kompakteren bekannten Bauarten sind sehr filigran und kompliziert gebaut und daher entsprechend teuer.

In diesen Umständen liegt der eigentliche Grund, aus dem sich die Photokatalyse großtechnisch bislang nicht durchgesetzt hat.

Es stellte sich daher die Aufgabe, ein Verfahren und Vorrichtungen zu entwickeln, die eine möglichst hohe Packungsdichte der bestrahlten Katalysatoroberfläche mit einer möglichst kostengünstigen Bau- und Betriebsweise verbinden.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der Hauptansprüche gelöst und durch die der Unteransprüche gefördert.

Transport der Energie durch phosphoreszierende Stoffe

Die Erfindung beruht auf dem neuartigen Prinzip die notwendige Energie durch phosphoreszierende Stoffe in die Nähe der photokatalytisch aktiven Oberfläche (im folgenden Photokatalysator **PK** genannt) zu transportieren, wo die phosphoreszierenden Partikel Licht geeigneter Wellenlänge abstrahlen und die PK aktivieren.

Die phosphoreszierenden Partikel (im folgenden Mikro-Radiatoren **MR** genannt) müssen an einer geeigneten Lichtquelle "aufgeladen" werden. Sie werden dann zur photokatalytisch aktiven Schicht transportiert, wo sie ihre gespeicherte elektromagnetische Energie ganz oder teilweise abgeben, um dann wieder zur UV-Lichtquelle zu gelangen. usw.

Dies hat den Vorteil, daß, bei Auswahl geeigneter MR, die gespeicherte Energie mit einer Halbwertszeit von einigen Sekunden bis Minuten im Inneren des Reaktionsraums an die PK weitergegeben wird, wo diese ihre Katalysatorwirkung ausüben können, während aufgrund der kurzen Halbwertszeiten des aktiven Zustands der PK diese sonst nur in der Nähe der Energiequelle reagieren.

Als Reaktoren kommen verschiedene Reaktortypen, die für Reaktionen und/oder für Stofftransportprozesse eingesetzt werden können, in Frage, vorzugsweise:

- Wirbelbett, Wirbelbettkaskade, Wirbelrinne
- Spouted Bed, Kaskade aus Spouted Beds
- Schlaufenreaktor, Kaskade aus Schlaufenreaktoren
- Rührkessel, Rührkesselkaskade
- Rohrreaktor
- Festbett (mit PK beschichtet) oder alle offenen, geordneten Strukturen wie Plättchen, Waben usw.

Bei all diesen Verfahren werden die MR an einer Lichtquelle aktiviert, physikalisch mit der Reaktionslösung und den PK vermischt, nach Abgabe der Energie an die PK zur Lichtquelle zurückgeführt, "aufgeladen" und erneut dem Katalysator zugeführt.

Die Vermischung kann zum einen durch Strömungen und Partikeldiffusion im Apparat erfolgen. Sind diese Transportmechanismen ausreichend, so kann die Lichtquelle z.B. eine UV-Lampe(n) direkt an der Wand des Apparats oder im Apparat installiert sein, wodurch die in der Nähe vorbeifließenden MR mit hoher Energiedichte aufgeladen werden, um dann durch die Strömung wieder ins Innere des Reaktors zu gelangen.

Zusätzlich können durch Leitbleche, Prallbleche, Rührwerke usw. diese Transportmechanismen verbessert werden.

Alternativ oder zusätzlich kann der MR über einen externen Kreislauf an geeigneten Lampen vorbeigeführt werden. Hierzu wird vorzugsweise der MR vom zu behandelnden Fluid und vom PK abgetrennt, um seine Konzentration an der Lichtquelle zu erhöhen und Abschattungen durch PK- und Substratpartikel zu vermeiden. Vorzugsweise wird dabei der MR mit einer geringen Menge des zu behandelnden Fluids konvektiv transportiert.

Der am häufigsten eingesetzte Photokatalysator ist TiO_2 . Mit einer Energielücke von 3,2 eV kann er mit ultraviolettem Licht mit einer Wellenlänge kleiner als 385 nm aktiviert werden. Es sind aber auch viele andere Photokatalysatoren bekannt, die sich mit Licht größerer Wellenlänge als 385 nm aktivieren lassen. Als Beispiele seien hier genannt ZnO und die Oxide anderer Übergangselemente (WO 95/11751) sowie CdS [EP 0 234 875 B1] und SnO_2 , SrTiO_3 , WO_3 , Fe_2O_3 (WO 96/36565). Die Reihe der Beispiele ließe sich noch weiter fortsetzen.

In jüngster Zeit wurden Photokatalysatoren für den Bereich des sichtbaren Lichts (Lettmann, Christian: "Konventionelle und kombinatorische Entwicklung von Misch-

oxiden zur photokatalytischen Wasserreinigung mit sichtbarem Licht", Diss. Univ. des Saarlandes, 2001) und für die Verwendung von Sonnenlicht (EP 0 812 619 A1) entwickelt.

Vorzugsweise werden relativ harte und abriebfeste PK verwendet, wobei anorganische Stoffe, die nicht oxidiert werden, bevorzugt sind. Je nach Einsatzart kann der PK sehr unterschiedliche Partikelgrößen und Strukturen aufweisen.

Suspensionskatalysatoren: Partikeldurchmesser: 1 nm bis 100 µm
Wirbelbettreaktor: Partikeldurchmesser: 1 µm bis 1mm

Bei Verwendung von Festbetten (oder allen Reaktoren mit geordneten Strukturen wie Plättchen, Waben usw.) ist der Photokatalysator als mehr oder weniger dünne Schicht auf dem ruhenden Träger fixiert.

Der Mikroradiator MR

Der Mikroradiator MR ist ein phosphoreszierender Feststoff, der in Form von Partikeln verwendet wird. Er muß eine hinreichend lange Nachleuchtzeit (mindestens im Sekundenbereich, besser einige Minuten oder länger, vorzugsweise 5 Sekunden bis 30 Minuten) haben und in dem Wellenlängenbereich emittieren, in dem der Photokatalysator aktiviert werden kann.

Beispiele für geeignete phosphoreszierende Feststoffe

Es sind viele phosphoreszierende Feststoffe mit Emissionen im sichtbaren Bereich bekannt, die zwar für andere Zwecke entwickelt wurden aber alle Anforderungen für die hier beschriebene Anwendung abdecken. Anstelle einer umfangreichen Aufzählung wird auf die folgenden Literaturstellen verwiesen, deren Inhalt hiermit übernommen wird

(US P 6,287,993, DE 195 21 119 A1, DE 199 26 980 A1, DE 199 34 436 A1).

Die Anwendung dieser MR erfolgt z.B. in Kombination mit dem in Lettmann, Christian: "Konventionelle und kombinatorische Entwicklung von Mischoxiden zur photokatalytischen Wasserreinigung mit sichtbarem Licht", Diss. Univ. des Saarlandes, 2001, beschriebenen Photokatalysatoren (PK).

In US P 6,287,993, sind lange leuchtende phosphoreszierende Stoffe beschrieben. Unter anderem ist in Beispiel 17 mit Zink und Praseodym dotiertes Glas beschrieben, das mit einer Emission von 350 bis 450 nm geeignet ist, TiO_2 als Photokatalysator zu aktivieren (vgl. Fig. 3).

Auch in DE 195 21 119 A1, sind "langsam abklingende" phosphoreszierende Stoffe beschrieben, die als TiO_2 -Aktivatoren genutzt werden können, da sie auch bei unter 400 nm emittieren. Es handelt sich dabei um Gläser, die mit seltenen Erdmetallen dotiert sind.

Im Prinzip liegt das Korngrößenspektrum der MR wie beim Photokatalysator PK zwischen 1 nm und 1 mm, vorzugsweise 1 μm – 0,5 mm, je nach Anwendung.

Eine effiziente und wirtschaftliche Lösung - bevorzugt für größere Apparate - besteht darin, daß die Partikelgröße des MR deutlich über der des PK liegt, damit ein an der Lampe "aufgeladenes" MR-Partikel möglichst viele PK-Partikeln bestrahlt. Ferner hat dies den Vorteil, daß die MR durch Filter oder Siebe leicht vom Fluid und den darin enthaltenen PK abgetrennt und einer Regenerierung zugeführt werden können.

Eine andere effiziente und wirtschaftliche Lösung - bevorzugt für kleine Apparate - besteht darin, daß die Partikelgröße des MR deutlich unter der des PK liegt, um so zu einer einfachen Auftrennung von MR und PK zu gelangen.

Prinzipiell kann aber kein Verhältnis der Partikelgrößen von PK und MR ausgeschlossen werden. Dies ergibt sich allein schon aus der Vielfalt an geeigneten Apparatetypen.

Geeignet sind massive Partikel, die sich besonders einfach herstellen lassen, aber auch solche, bei denen das phosphoreszierende Material auf einen Träger-Kern beschichtet ist. Bei Verwendung eines magnetischen Kerns eröffnen sich zusätzliche Möglichkeiten für die Abtrennung und den Transport der MR-Partikeln.

Vermeidung von Abrieb am MR und/oder Korrosion und/oder Auflösen des MR

Zur Vermeidung von Abrieb kann der MR, wenn er nicht sowieso aus einem Glas besteht, mit einer (dünnen) Licht durchlässigen Schicht (z.B. Glas) beschichtet werden. Dies kann auch gegen Korrosion bzw. Auflösen des MR im zu behandelnden Fluid schützen.

Abtrennung von Photokatalysator PK und Mikro-Radiatoren MR

Die Abtrennung von PK und MR (auch Abrieb!) vom Fluid kann über klassische Verfahren wie Filter, Zyklon, Zentrifuge usw. aber bei MR auch mit Magnetabscheider (siehe oben) erfolgen.

Die Auf trennung von PK und MR voneinander kann über die Partikelgröße (Filter, Zyklon) aber auch über die Dichte (Zyklon, Zentrifuge) und andere physikalische Unterschiede (z.B.: magnetischer Kern des MR; siehe oben) erfolgen.

Ein bevorzugtes Verfahren besteht darin, größere MR mittels eines Bandfilters von Fluid und PK zu trennen, die abgetrennten MR an einer energiereichen Lichtquelle zu aktivieren und vom Ende des Filterbandes wieder in das Fluid zurückzuführen.

Als Lichtquellen sind besonders UV-Strahler mit dem geeigneten Spektrum zur Anregung der Mikro-Radiator-Partikeln geeignet.

Bei externem Kreislauf ist die Lampe vorzugsweise in einem speziellen Apparat zu installieren. Dieser sorgt durch seine Führung der MR-Partikeln, daß eine möglichst effiziente Beleuchtung aller MR-Partikeln erfolgt;
zum Beispiel durch:

Bewegung der MR-Partikeln in einem engen Spalt um die Lampe.

Strömung mit gutem Partikeltransport quer zur Strömungsrichtung
(z.B. in einem Wirbelbett mit eingebauten Lampen oder durch Ausprägen einer turbulenten Strömung usw.)

Vorzugsweise wird der Photokatalysator PK vom Mikro-Radiator MR vor der externen Lampe abgetrennt, um Abschattung durch die PK beim "Aufladen" des MR zu vermeiden.

Auch bei direkter Bestrahlung im Apparat ist eine (zumindest partielle) Abtrennung des PK vom MR in der Nähe des Strahlers zu bevorzugen (z.B. über die Strömungsführung oder vorgeschaltete Filter oder Magnetfelder bei Verwendung eines magnetischen Kerns des MR).

Es versteht sich von selbst, daß dem Reaktor neben dem zu behandelnden Fluid die notwendigen Reaktanden zugeführt werden müssen. (z.B.: Zufuhr von O₂ zur Oxidation von organischen Verunreinigungen in Wasser).

Ebenso müssen meist die Reaktionsprodukte (z.B. CO₂) hinter dem Reaktor vom behandelten Fluid abgetrennt werden.

Eignung der Problemlösungen für Medien und Reaktionen

Das erfindungsgemäße Verfahren ist für alle chemischen Reaktionen, die an photokatalytisch aktiven Oberflächen in Flüssigkeiten oder Gasen durchgeführt werden können, geeignet.

Bevorzugte Anwendung findet die Erfindung für die Oxidation von gelösten organischen Molekülen, dispergierten Tropfen und Feststoffteilchen, Mikroorganismen und Viren in Wasser und Gasen (auch Gasblasen bei Wasser).

Die Wellenlängen des Lichts zum "Aufladen" des MR und bei der Abstrahlung durch den MR müssen nicht gleich sein. Häufig ist das abgestrahlte Licht langwellig verschoben. Das vom MR abgestrahlte Licht sollte hinreichend energiereich (kurzwellig) sein, um die nötige Katalysatorennergie aufzubringen (z.B. UV-Licht).

Der Begriff "Licht" kann durch den Begriff "elektromagnetische Strahlung geeigneter Wellenlänge" ersetzt werden, gilt also auch für andere Wellenlängenbereiche bei Verwendung entsprechender Photokatalysatoren (insbesondere sichtbares Licht bzw. Sonnenlicht).

Durch die Verwendung der Mikroradiatoren MR wird eine Packungsdichte der bestrahlten Katalysatoroberfläche erreicht, wie sie mit keinem der bekannten Verfahren möglich ist. Zudem können recht einfache ggf. bekannte Apparate verwendet werden. Sie müssen nur auf das neue Verfahren adaptiert bzw. modifiziert werden. Lediglich die Apparate, die die externen Lampen enthalten, erfordern möglicherweise Neukonstruktionen.

Beispiel 1

Laborsuspensionsreaktor laut Figur 1

Der Reaktor besteht aus dem Rührgefäß 1 mit Flügelrührer 2, einer Zuleitung für Sauerstoff (Luft) 3, einer Ableitung für Abgase 4 und einer äußeren Lampe (UV-Strahler) 5 und enthält eine Suspension aus einem Reaktionsmedium 6, den als o dargestellten Mikroradiatoren 7 sowie den als • dargestellten Photokatalysatoren 8.

Die Suspension - bestehend aus 500 ml einer wässrigen Lösung eines organischen Stoffs und Photokatalysator sowie Mikro-Radiatoren MR in einem Reaktorvolumen von 800 ml wird ständig gerührt, wodurch sich eine, im Zentrum absteigende und an der Wandung aufsteigende umlaufende Strömung ergibt, während eine UV-Lampe (20 Watt Leistung bei 350 nm Strahlungsmaximum) seitlich einstrahlt (bestrahlte Fläche 50 cm²). So kommen alle MR-Partikel, im zeitlichen Mittel an die UV-Quelle, wo sie aktiviert werden. Luft wird in feinen Perlen durchgeleitet.

Der Zusatz an Mikro-Radiatoren MR erhöht die Abbaurate der organischen Komponente beträchtlich, in dem er Strahlungsenergie ins Innere des Reaktors bringt.

Beispiel 2

Laborsuspensionsreaktor mit externem Umlauf des Mikro-Radiators MR laut Figur 2

Der Reaktor besteht aus einem Rührgefäß 1 mit Flügelrührer 2, einer Zuleitung für Sauerstoff (Luft) 3, einer Ableitung für Abgase 4, wobei unterhalb des Rührers 2 ein Sedimentationsraum 9 vorgesehen ist, in dem sich die schwereren MR 7 sammeln, um mit wenig Fluid 6 zusammen über die Pumpe 10 und Leitung 11 in den äußeren

Ringspalt 12 einer UV-Lampe 5 und nach Aktivierung über die Leitung 13 wieder von oben in den Rührbehälter 1 zurückgeführt zu werden.

Die Suspension - bestehend aus einer wäßrigen Lösung einer oxidierbaren Substanz, Photokatalysator sowie Mikro-Radiator wird ständig gerührt und durch Durchleiten von Luft mit O₂ gesättigt. Der Mikro-Radiator (0 bis 10 g) wird im Sedimentationsraum ständig vom Photokatalysator abgetrennt und an einer UV-Lampe vorbei zum Laborreaktor zurückgeführt. Die Umlaufgeschwindigkeit beträgt Bspw. 5 bzw. 10ml/min. Im äußeren Kreislauf befinden sich dabei z.B. 10g bzw. bei zwei Lampen 20g zusätzliche MR zu der Menge im Rührkessel. Der Zusatz an Mikro-Radiator erhöht die Abbaurate der org. Substanz beträchtlich. Auch das Erhöhen des umlaufenden Mengenstroms erhöht die Abbaurate.

Beispiel 3

Rohrreaktor mit Mäanderrippen und getrenntem externem Umlauf von Photokatalysator (PK) und Mikroradiatoren (MR) laut Figur 3.

Der Reaktor besteht aus einem Rohrreaktor 21 mit eingebauten mäanderförmig angeordneten, horizontalen Rippen 22, dem von unten über die Leitung 23 aus dem Mischer 24 ein Gemisch bestehend aus: Reaktionslösung 6, die mit Sauerstoff angereichert ist und dem Mischer über die Leitung 25 zugeführt wird, Photokatalysator 8, der über die Pumpe 27 und Leitung 26 / 28 im Kreislauf geführt wird und Mikroradiatoren 7, die über die Leitungen 11 und 13, die Pumpe 10 und den die UV-Lampe 5 umgebenden Ringmantel 12 im Kreislauf geführt werden, zugeführt wird, welches den Reaktor über den Separator 29 verläßt, wo es in die Komponenten getrennt wird. Die ausreagierte Reaktionslösung sowie gebildete Abgase werden über die Leitung 30 abgeführt.

Beispiel 4

Rohrreaktor mit Photokatalysator beschichteten Wabeneinbauten und externer Aktivierung laut Figur 4.

Der Reaktor besteht aus dem rohrförmigen Reaktorgehäuse 1 mit Wabeneinbauten 32 in Richtung des Rohres, die mit Photokatalysator beschichtet sind. Reaktionslösung 6 aus der Zuführungsleitung 25 und aktivierte Mikroradiatoren 7 aus der Kreislaufleitung 13 werden über den Mischer 24 und Leitung 23 in den Reaktor eingeführt, passieren die Wabeneinbauten 32 und geben dabei ihre Photoenergie an die PK ab, bevor sie im Separator 29 von der Lösung 6 getrennt werden und über Leitung 11 und Pumpe 10 in den Ringmantel 12 der Lampe 5 geführt werden, wo sie mit UV-Licht aktiviert und über die Leitung 13 wieder in den Reaktor zurückgeführt werden.

Patentansprüche

1. Reaktor zur Durchführung photokatalysierter Reaktionen in flüssigen oder gasförmigen Reaktionsmedien bestehend aus einem Reaktorbehälter mit einem festen Photokatalysator, Zu- und Abführungsleitungen, Mischvorrichtungen und einer Vorrichtung zum Zuführen von elektromagnetischer Strahlung, **dadurch gekennzeichnet**, daß Mikroradiatoren enthalten sind, welche geeignet sind, die elektromagnetische Strahlung zu absorbieren und zeitlich verzögert Licht abzustrahlen, welches den Photokatalysator anregt.
2. Reaktor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strahlungsquelle an einer strahlungsdurchlässigen Wand oder im Inneren des Reaktorbehälters angebracht ist und die Mischvorrichtung geeignet ist, die MR aus dem Inneren des Reaktorbehälters an die Strahlungsquelle und zurück zu befördern.
3. Reaktor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung zum Zuführen von elektromagnetischer Strahlung aus einer Lampe und einem Flüssigkeitskanal besteht, welcher über Transportleitungen und Fördereinrichtungen für die Mikroradiatoren mit dem Reaktorbehälter verbunden ist.
4. Reaktor nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Lampe stabförmig ausgebildet ist und von dem Flüssigkeitskanal mantelförmig umgeben ist.
5. Reaktor nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Reaktorbehälter mit einer Vorrichtung zur Separierung der MR von den PK und/oder dem Reaktionsmedium versehen ist.

6. Reaktor nach den Ansprüchen 1 bis 5, zur Oxidation von organischen Verunreinigungen in Wasser oder Abwasser, **dadurch gekennzeichnet**, daß Zuleitungen für Luft oder Sauerstoff und Ableitungen für die Abgase vorgesehen sind.
7. Reaktor nach den Ansprüchen 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Reaktorbehälter ein Wirbelreaktor, ein Durchfluß- oder Rohrreaktor, ein Festbettreaktor oder ein Rührkesselreaktor ist.
8. Reaktor nach den Ansprüchen 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die PK einen Partikeldurchmesser von 1 nm bis 100 µm in Suspensionsreaktoren oder 1 µm bis 1 mm in Wirbelbettreaktoren oder Festbettreaktoren aufweisen.
9. Reaktor nach den Ansprüchen 1 – 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die MR eine Phosphoreszenzhalbwertzeit von 5 Sekunden bis 30 Minuten aufweisen und eine Korngröße von 1 nm bis 1 mm, vorzugsweise 10 µm bis 0,5 mm besitzen.
10. MR zur Verwendung in Reaktoren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß sie aus einem phosphoreszierenden Material bestehen, welches auf einen Träger aufgezogen und gegebenenfalls mit einer strahlungsdurchlässigen Schicht abgedeckt ist.
11. MR gemäß Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Träger aus magnetischem Material besteht.
12. Verfahren zum Durchführen photokatalytischer Reaktionen, **dadurch gekennzeichnet**, daß feste PK in dem flüssigen oder gasförmigen Reaktionsmedium suspendiert oder auf einer Oberfläche aufgezogen ist und mittels Mikroradia-

toren, die an einer elektromagnetischen Strahlungsquelle aufgeladen sind und diese Energie zeitlich verzögert abstrahlen, aktiviert werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die MR nach Aktivierung der Energie wieder an der Strahlungsquelle vorbeigeleitet und erneut aufgeladen werden.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die MR von den PK und/oder dem Reaktionsmedium separiert werden bevor sie zu einer separaten Strahlungsquelle geführt und aktiviert werden, um anschließend wieder in das Reaktionsmedium zurückgeführt zu werden.
15. Verfahren nach den Ansprüchen 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die photokatalytische Reaktion eine Oxidation organischer Verbindungen in wäßriger Lösung ist.
16. Verfahren nach den Ansprüchen 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Katalysator TiO_2 -Körner und die MR Glaspartikel sind, die mit seltenen Erden dotiert sind und die mit UV-Licht oder sichtbarem Licht angeregt werden können.

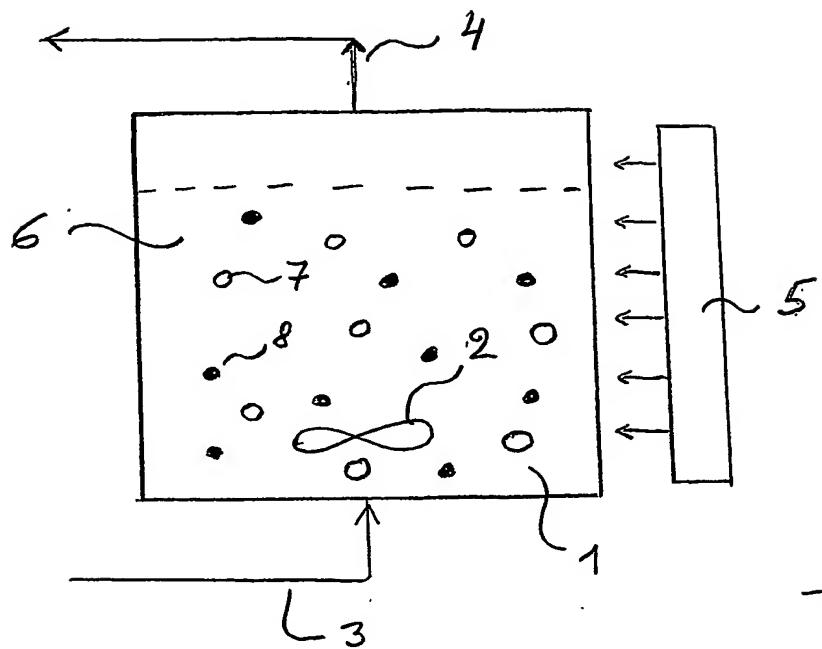


Fig. 1

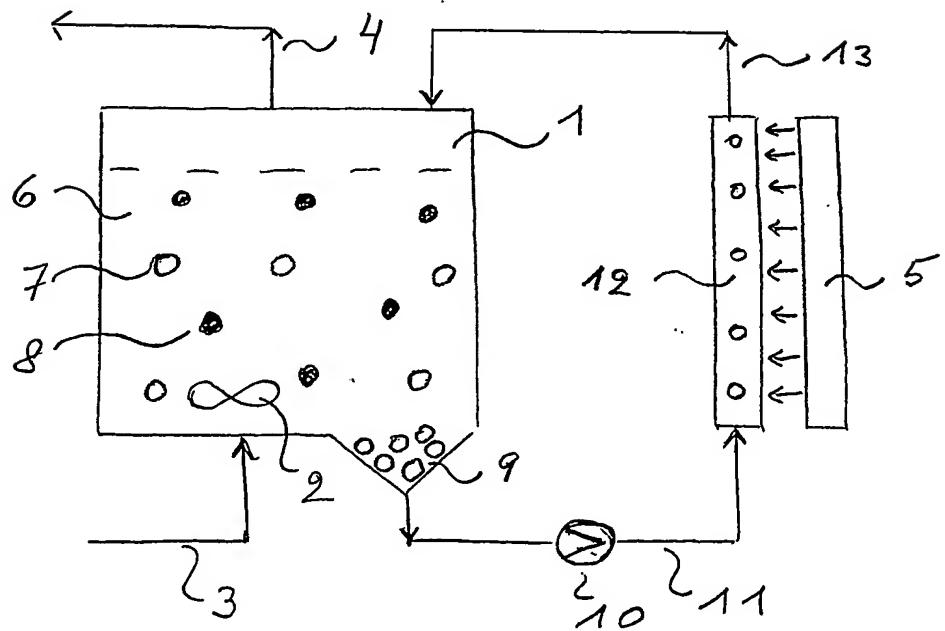


Fig. 2

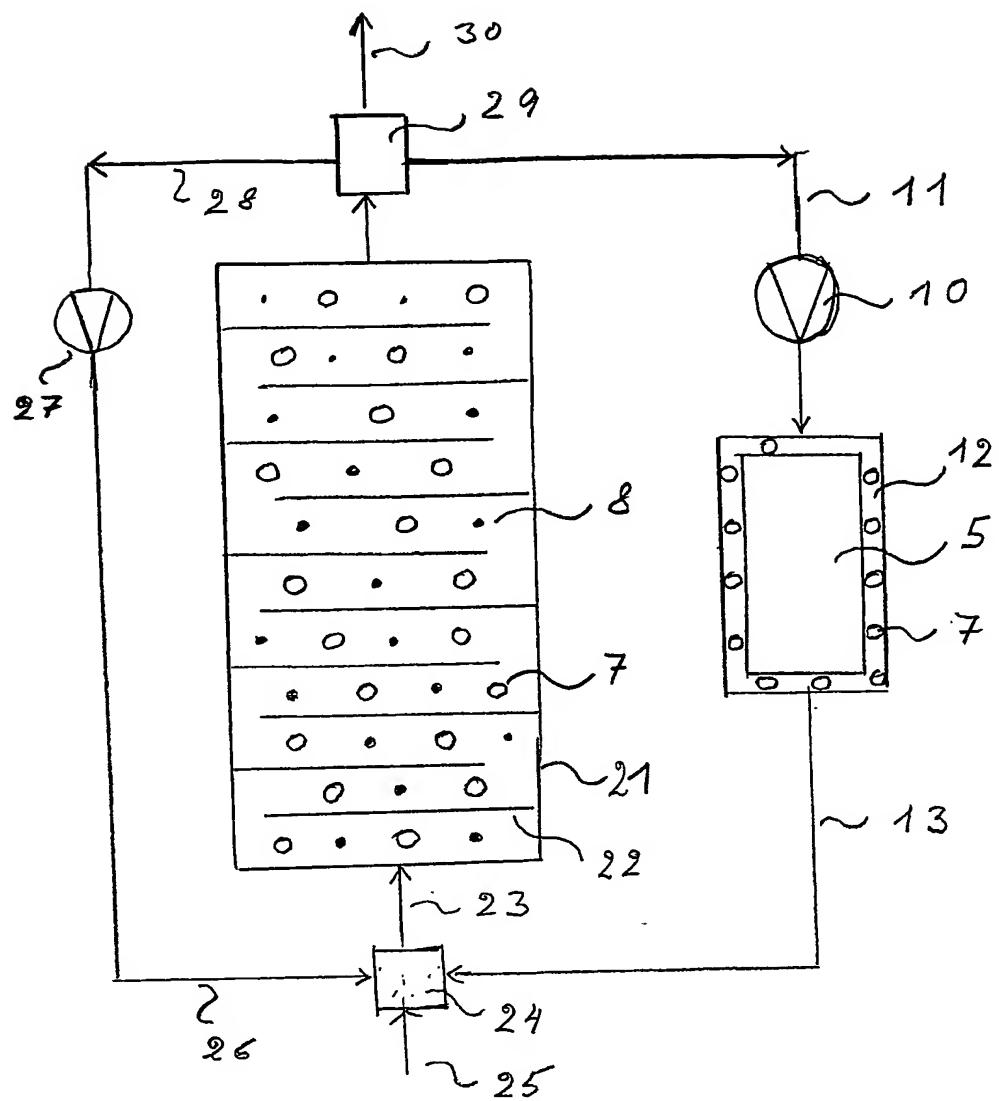


Fig. 3

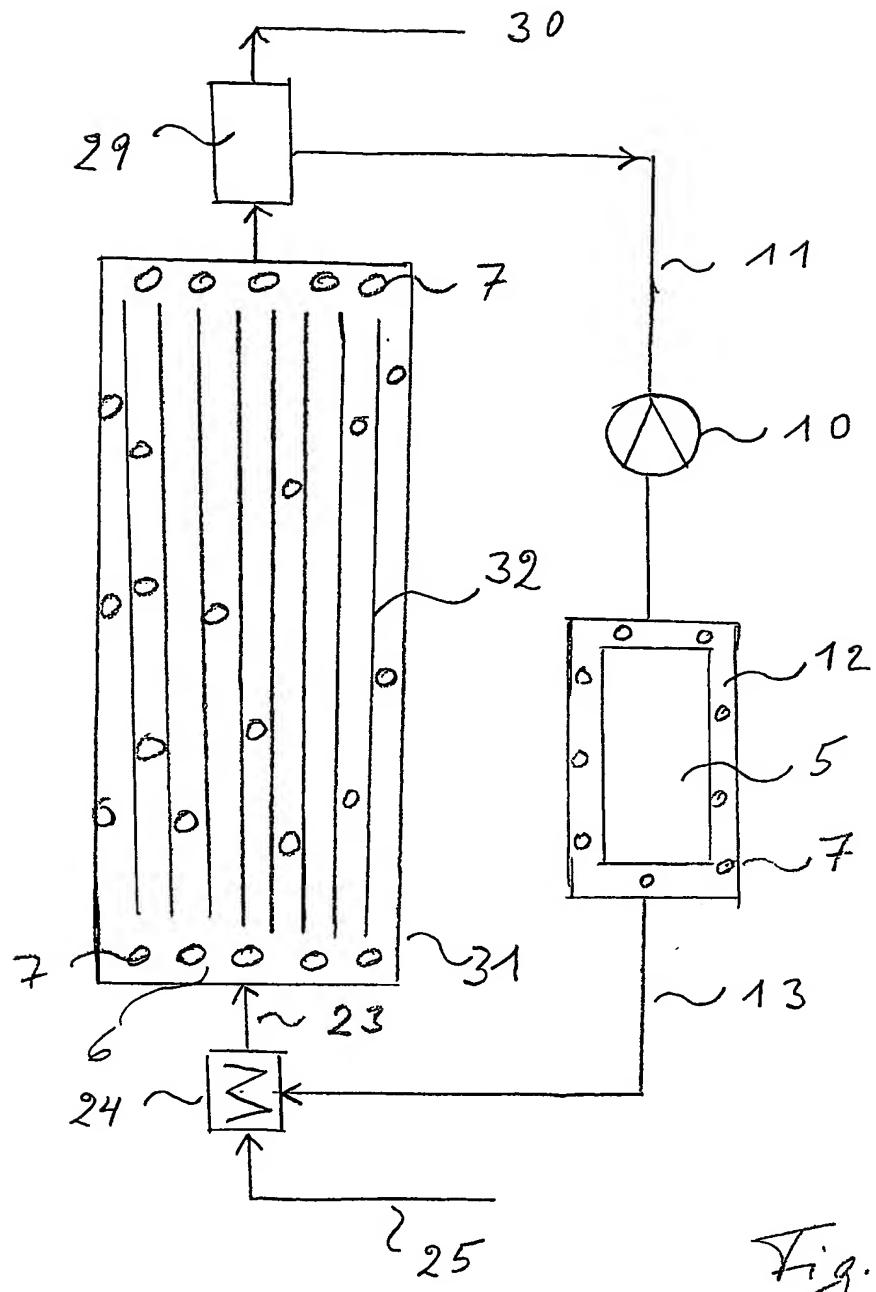


Fig. 4

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft einen Reaktor zur Durchführung photokatalysierter Reaktionen in flüssigen oder gasförmigen Reaktionsmedien bestehend aus einem Reaktorbehälter mit einem festen Photokatalysator, Zu- und Abführungsleitungen, Mischvorrichtungen und einer Vorrichtung zum Zuführen von elektromagnetischer Strahlung, welche Mikroradiatoren enthalten, welche die elektromagnetische Strahlung absorbieren und zeitlich verzögert Licht abstrahlen, welches den Photokatalysator anregt sowie ein Verfahren zum Durchführen photokatalytischer Reaktionen, wobei feste PK in dem flüssigen oder gasförmigen Reaktionsmedium suspendiert und mittels Mikroradiatoren, die an einer elektromagnetischen Strahlungsquelle aufgeladen sind und diese Energie zeitlich verzögert abstrahlen, aktiviert werden.

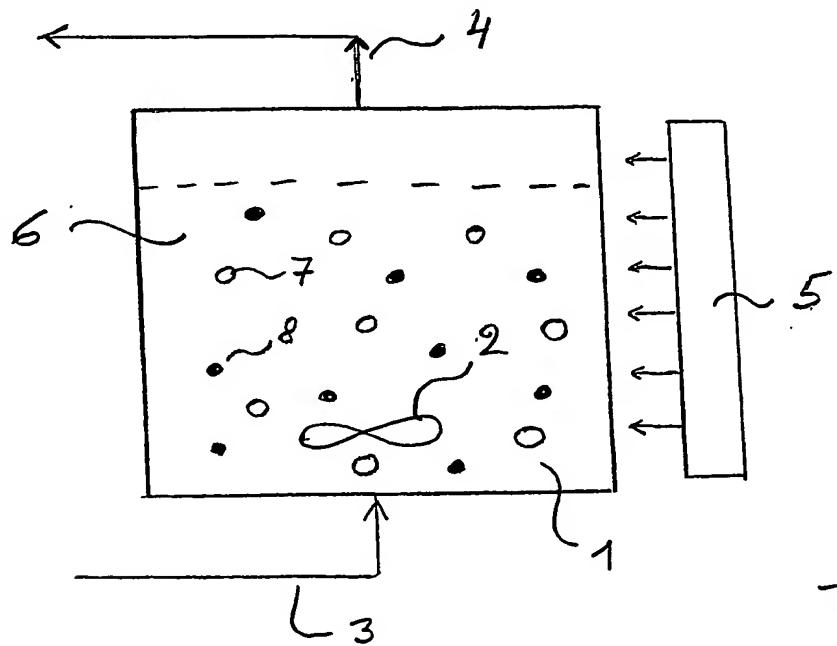


Fig. 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.